

УДК 669.1

В. Ю. Ярков^{1,2*}, А. Е. Устинов^{1,2}, В. И. Пастухов^{1,2}¹ Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург² Институт реакторных материалов, г. Заречный

*valick99@gmail.com

Научные руководители: канд. техн. наук С. А. Аверин,
проф., д-р техн. наук М. Л. Лобанов

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗЕРЕННОЙ СТРУКТУРЫ ТРУБ ИЗ СПЛАВА Zr–2,5 %Nb МЕТОДАМИ СЭМ

Проведено исследование на шлифах поперечного и продольного разреза трубного изделия диаметром 88 мм из сплава Zr–2,5 %Nb, обладающих мелкозернистой структурой (~ 1–2 мкм). Методами сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) определены структурные составляющие сплава (твердый раствор α -Zr и частицы β -Nb), а также средний размер зерен α -Zr. Ориентационным анализом (EBSD) составлены карты преимущественных кристаллографических ориентировок.

Ключевые слова: цирконий, стереографический анализ, мелкозернистая структура, СЭМ, EBSD-анализ

V. Y. Yarkov, A. E. Ustinov, V. I. Pastukhov

RESEARCH GRAIN STRUCTURE OF Zr–2,5 % Nb ALLOY TUBES BY SEM METHODS

The research was performed on thin sections of the transverse and longitudinal sections of tubes with a diameter of 88 mm from an alloy of Zr–2,5 %Nb, which have a fine-grained structure. Using scanning electron microscopy (SEM), the average grain size and structural components of the alloy after manufacture are determined. EBSD analysis compiled maps of preferred crystallographic orientations.

Key words: zirconium, stereographic analysis, fine-grained structure, SEM, EBSD analysis

Величина зерна ответственна за целый ряд физико-механических свойств материалов. Так, мелкозернистые материалы обладают

более высоким сопротивлением деформации по сравнению с крупнозернистыми, большей пластичностью и вязкостью. Коррозионная стойкость также зависит от размеров зерна, хотя и косвенно, через состояние границ зерен.

Современные методы металлографического анализа разнообразны и удобны для пользователя. Существует целая серия программ по обработке полученных изображений структуры: Квантимет, SIAMS, Лассимат и др. Все программы металлографического анализа прекрасно справляются со своими задачами. Но существует проблема определения мелкозернистой (≤ 10 мкм) структуры вследствие недостаточного увеличения оптического микроскопа [1].

Для решения этой проблемы хорошо подходят современное оборудование и методики СЭМ-анализа. Благодаря возможности получения изображений во вторично отраженных электронах, обратно рассеянных электронах, высокому разрешению, большому увеличению и встроенному программному обеспечению СЭМ позволяет проводить анализ мелкозернистой структуры сплавов.

Zr обладает низким сечением захвата тепловых нейтронов. В сочетании с его хорошей совместимостью с ядерным топливом и удовлетворительной технологичностью это делает сплавы на основе Zr перспективным материалом для атомной промышленности. Из циркониевых сплавов изготавливают оболочки топливных каналов и каналов СУЗ РМБК-1000 [2].

После деформации трубных изделий из Zr и их отжига в несколько стадий заключительными обработками являлись нагрев до температуры 850–870 °С, закалка в воду, холодная прокатка со степенью суммарной деформации 23 %, старение при температуре 515 °С в течение 24 часов.

Исследования были выполнены на сканирующем электронном микроскопе MIRA3 FEG-SEM, оснащенный детектором обратно отраженных электронов (EBSD) Oxford Instruments Nordlys Nano. Для определения параметров структуры в работе были использованы EBSD-анализ, программа MiraTC и методы СЭМ [3].

Структура сплава Zr–2,5 %Nb (рис., а, б) представляет собой α -циркониевую матрицу с выделениями частиц β -Nb. Структура сплава была частично рекристаллизованной — доля рекристаллизованных областей на разных образцах составляла от 20 до 90 %.

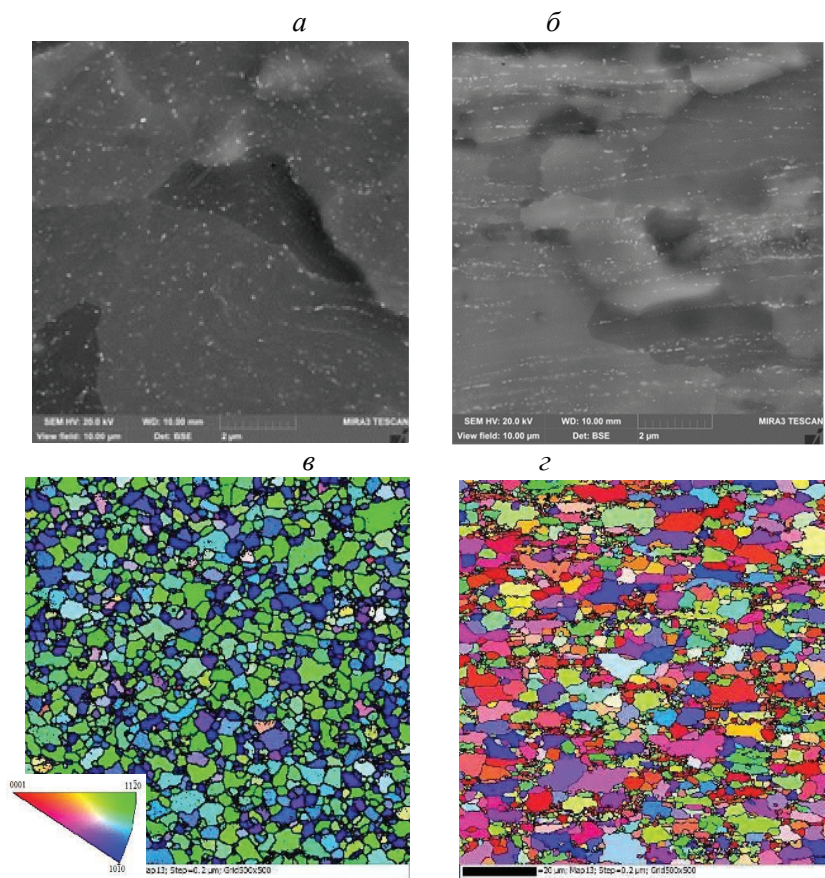


Рис. Микроструктура сплава Zr–2,5 %Nb
в отраженных электронах (*а, б*) и в виде ориентационных карт (*в, г*):
а, в — поперечное направление; *б, г* — продольное направление

Использование СЭМ позволило провести количественную оценку зеренной структуры и текстуры материала труб. Методом EBSD построены карты ориентаций кристаллитов (рис., *в, г*) и определены параметры зеренной структуры. Размер зерен находится в интервале от 0,2 до 12 мкм, при среднем — 1,5 мкм. В поперечном сечении зерна относительно равноосные, в продольном направлении — вытянуты вдоль оси трубы. Выделения Nb размером от 20 до 300 нм (средний размер ~ 50 нм) расположены преимущественно в «строчках». В текстуре изделия параллельно оси трубы устанавливаются кристаллографические направления $\langle 11\bar{2}0 \rangle$ (зеленый цвет) и $\langle 10\bar{1}0 \rangle$ (синий

цвет) (рис. 1, з), а в нормальном к оси направлении — $\langle 0001 \rangle$ (красный цвет) (рис. 1, з). Текстура является типичной для деформированных циркониевых сплавов.

На примере сплава $Zr-2,5\%Nb$ показана состоятельность методик СЭМ для анализа мелкозернистых структур. Измерен средний размер зерна, который составляет 1–2 мкм.

Литература

1. Лезинская Е. Я. Стереометрическая металлография. Днепропетровск : Экономика, 2013. 297 с.
2. Бескоровайный Н. М. Конструкционные материалы ядерных реакторов : учебник Б 53 для вузов. М. : Энергоатом, 1995. 349 с.
3. Методы исследования текстур в материалах: учебное пособие / М. Л. Лобанов [и др.]. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та. 2014. 115 с.